

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I**  
**INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Stručni studiji**

**NADZOR KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE**  
**INDUSTRIJSKOG POTROŠAČA**

**Završni rad**

**Denis Vuzem**

**Osijek, 2019.**

## Sadržaj

<b>1.UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2.OSNOVNI POJMOVI KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE .....</b>	<b>2</b>
2.1. Promjene napona .....	4
2.2. Treperenje napona .....	4
2.3. Harmonici .....	5
2.4. Frekvencija napona .....	7
2.5. Nesimetrija napona .....	7
2.6. Propadi napona .....	8
2.7. Prekid opskrbe električne energije .....	9
3.1. Značenje pojmova kvalitete i smetnje .....	10
3.2. Analiza rezultata .....	11
<b>4.IZVORI SMETNJI U INDUSTRIJSKIM POGONIMA.....</b>	<b>12</b>
4.1. Izvori harmonika u industrijskim pogonima .....	12
4.1.1 Uređaji s električnim lukom .....	12
4.1.2.Trofazni ispravljači .....	12
4.1.3. Uređaji sa radnom točkom u zasićenju .....	13
4.2. Izvori treperenja i kolebanja napona .....	14
4.3. Izvor nesimetrije napona .....	15
<b>5.TEHNIČKA RJEŠENJA ZA POBOLJŠANJE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE .....</b>	<b>16</b>
5.1.Smanjanje naponski propada .....	16
5.1.1. Transformatori stalnog napona .....	17
5.1.2. Magnetski sintezatori .....	19
5.1.3.UPS sustavi .....	20
5.1.4. Blok motor-generator.....	22
5.2. Smanjenje treperenja napona .....	24
5.3. Smanjenje harmonijskog izobličenja .....	24
5.3.1. Prigušnice .....	24
5.3.2 Pasivni filteri .....	26
<b>6.MJERENJE I INSTRUMENTI ZA MJERENJE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE .....</b>	<b>29</b>
6.1.Suvremeni analizator LEM MEMOBOX 800.....	29
6.2. Siemens SICAM Q200 .....	31
6.3. Usporedba uređaja MEMOBOX 800 i Siemens SICAM Q800 .....	34

<b>7.ZAKLJUČAK.....</b>	<b>35</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>37</b>
<b>SAŽETAK .....</b>	<b>38</b>
<b>ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>39</b>

## 1.UVOD

Ljudi su još u prošlom stoljeću uvidjeli kako kvaliteta električne energije utječe na kvalitetu rada i kvalitetu života. Danas se električna energija tretira kao roba, zbog toga se provodi nadzor električne energije. Kvaliteta električne energije se može gledati s ekonomskog i tehničkog aspekta. Inženjer promatra električnu energiju kao na problem koji treba riješiti, dok ekonomist gleda kao proizvod i profit.

Kvalitetu električne energije ne određuju samo amplituda, napon, frekvencija, nego i drugi kriteriji. Pojavom osjetljivih trošila u mreži, krenula je potreba za većom kvalitetom električne energije. Poluvodički aparati i oprema su nelinearna trošila i kao takvi u mrežu unose izobličenja. Javljaju se harmonici, izobličenja valnog oblika i druge probleme koje uzrokuju poluvodički pretvarači. Industrijski pogoni danas su automatizirani, i koriste frekvencijske pretvarače, PLC-ove itd. Takvi uređaji su osjetljivi na odstupanje od idealne električne energije. Zbog toga se javila potreba za standardiziranjem parametara električne energije kao i trajnim njihovim praćenjem.

Kvaliteta električne energije striktno je utvđena međunarodnim normama. Zato je najvažnija norma HRN EN 50160:2012 „Naponske karakteristike električne energije iz javnih distribucijskih mreža“.

Kroz rad je obrađena kvaliteta električne energije, uzroci poremećaja, metode za poboljšanje kvalitete električne energije industrijskog potrošača i nadzor(monitring) kvalitete električne energije. Kod zahtjevnijih potrošača potrebno je posvetiti više pažnje na kvalitetu električne energije. Potrošači koji zahtijevaju veću kvalitetu električne energije su podatkovni centri, laboratoriji, medicinski centri itd. U takvim objektima oprema je osjetljiva na promjenu u parametrima električne energije.

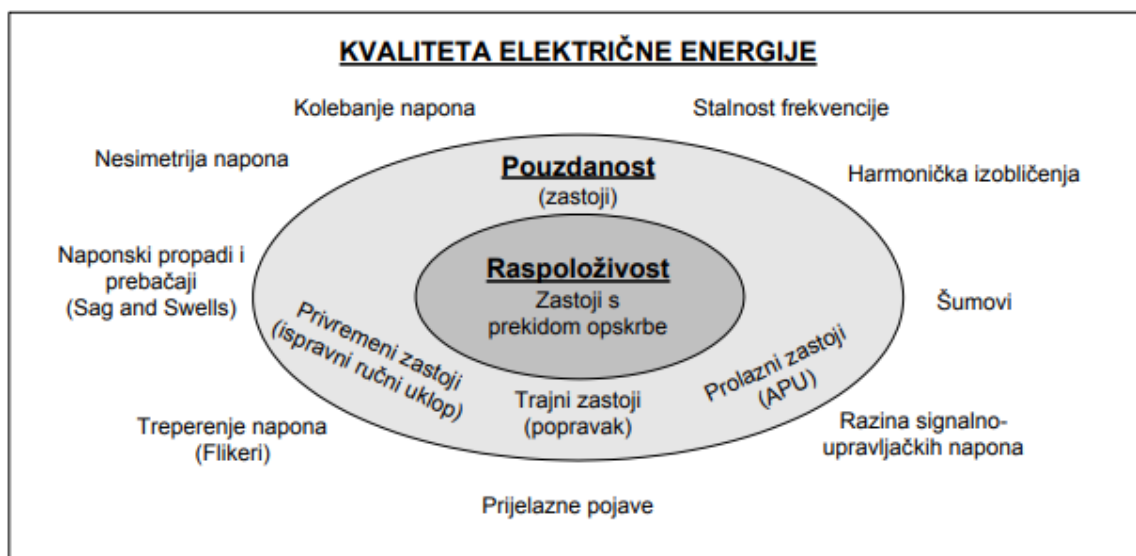
## **2.OSNOVNI POJMOVI KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE**

Osnovna definicija kvalitete električne energije govori da karakteristike izvora napajanja moraju omogućiti normalan rad potrošača. Norme se primjenjuje za razne parametre elektromagnetske kompatibilnosti i za utvrđivanje kvalitete električne energije. Norma koja definira EMC je EN (CENELEC europske ) . Norma koja definira kvalitetu električne energije je EN 50160 – 2012. Norme opisuju: razinu elektromagnetske kompatibilnosti, razinu elektromagnetskih opreme i koju potrošač može generirati. Norme ,koje opisuju kvalitetu električne energije ,reguliraju parametre napona i struje.

Parametri kvalitete električne energije koji se mjere:

- propadi napona i naponski prekidi
- harmonici i međuharmonici,
- kolebanje napona,
- prijelazni prenaponi,
- tranzijentni prenaponi,
- valovitost,
- nesimetričnost napona,
- promjene frekvencije mreže,
- postojanje DC signala u AC signalu,
- prisutnost signalnih napona.

Na slici 2.1 također se mogu vidjeti parametre.



Slika 2.1 Parametri kvalitete električne energije [2]

EN 50160			
POKAZATELJ	MJERNA JEDINICA	OBILJEŽJA NISKOGR NAPONA	OBILJEŽJA SREDNJEG NAPONA
PROMJENE NAPONA	V	$\pm 10\% U_n$ za 95% tjedna $+10/-15\% U_n$ za 5% tjedna	$\pm 10\% U_c$ za 95 % tjedna
Kratki prekidi	broj	< 3 min. – nekoliko desetaka do stotina godišnje	
Dugi prekidi	broj	$\geq 3$ min. – < 10 – 3 min. – < 10 – 50 godišnje	
Propadi	broj	nekoliko desetaka do tisuću godišnje	
THD napona	% $U_n$	< 8% $U_n$	
Treperenje	Plt	Plt $\leq 1$ , za 95 % tjedna	
Nesimetrija	% $U_n$	< 2 % $U_n$	
Frekvencija	Hz	$\pm 1\% f_n$ za 99,5 % godine $+4/-6\%$ za 100% godine	

Tablica 2.1. Pokazatelji parametara norme EN 50160

## 2.1. Promjene napona

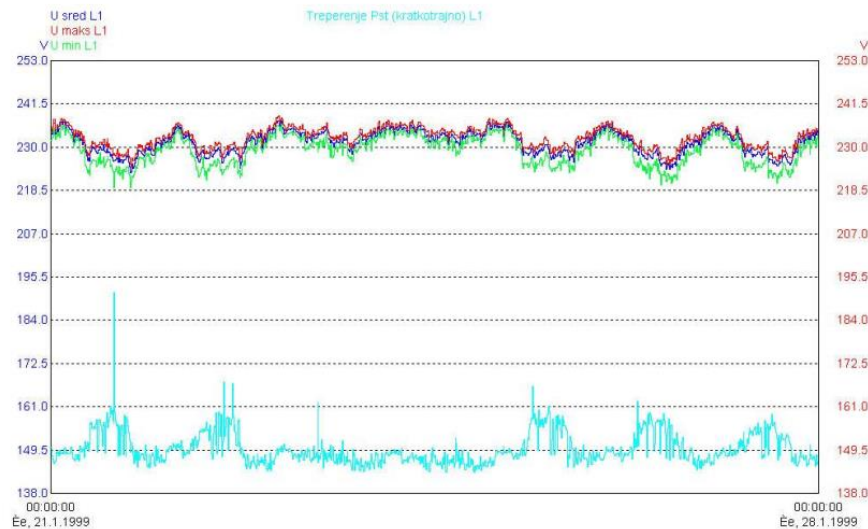
Kod promjena napona razlikuju se brze i polagane promjene napona. Promjena napona je prihvatljiva ako se pri normalnim pogonskim uvjetima 95% svih 10-minutnih srednjih vrijednosti efektivne vrijednosti opskrbnog napona svakog tjednog intervala nalazi unutar +/- 10% vrijednosti normiranog nazivnog napona ( $U_n$ ). To znači da od ukupno 1008, 10-minutnih srednjih vrijednosti efektivnih vrijednosti napona izmjerenih tijekom jednog tjedna, njih 958 mora imati vrijednost unutar područja 207 –253 V.

## 2.2. Treperenje napona

Treperenje napona (flicker) određuje se na sljedeći način: Ukoliko je u prostoriji 100 ljudi pri istim uvjetima i 50 ljudi vidi promjenu intenziteta svjetla, možemo reći da je flicker intenziteta 1. Ljudsko oko je najviše osjetljivo na flickere frekvencije od 7 Hz do 10Hz. Pri normalnim pogonskim uvjetima dugotrajna jakost tijekom tjedna ne smije prelaziti 1. Djelovanje raste s amplitudom napona. Jakost treptanja napona (flickera) računa se po formuli (2-1).

$$Plt = 3 \sqrt{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

(2-1)



Slika 2.2. Treperenje napona

Jakost flickra ne smije prijeći vrijednost jedan unutar 95% vremena jednog tjedna.

## 2.3. Harmonici

Naponi viših harmonika sinusoidni su naponi frekvencija koje su cjelobrojni višekratnici osnovne frekvencije. Harmonici imaju negativan utjecaj na rad elektromagnetskog sustava. Pri normalnim pogonskim uvjetima 95% 10-minutnih srednjih vrijednosti efektivne vrijednosti napona svakog pojedinog višeg harmonika ne smije ni u jednom tjednom intervalu prelaziti vrijednost iz tablice 2.3. Više harmonike u mrežnom naponu uglavnom generiraju viši harmonici struja nelinearnih trošila, koji su spojeni na distribucijsku mrežu. Primjena frekvencijskih pretvarača i drugih upravljačkih uređaja povećava vrijednost međuharmonika. U tablici (2-2) se mogu vidjeti dopuštene vrijednosti viših harmonika, i to:

- Pojedinačno (amplitude svedene na amplitudu osnovnog harmonika)
- Ukupnog (ukupan sadržaja harmonika, Total

Harmonic Distortion)

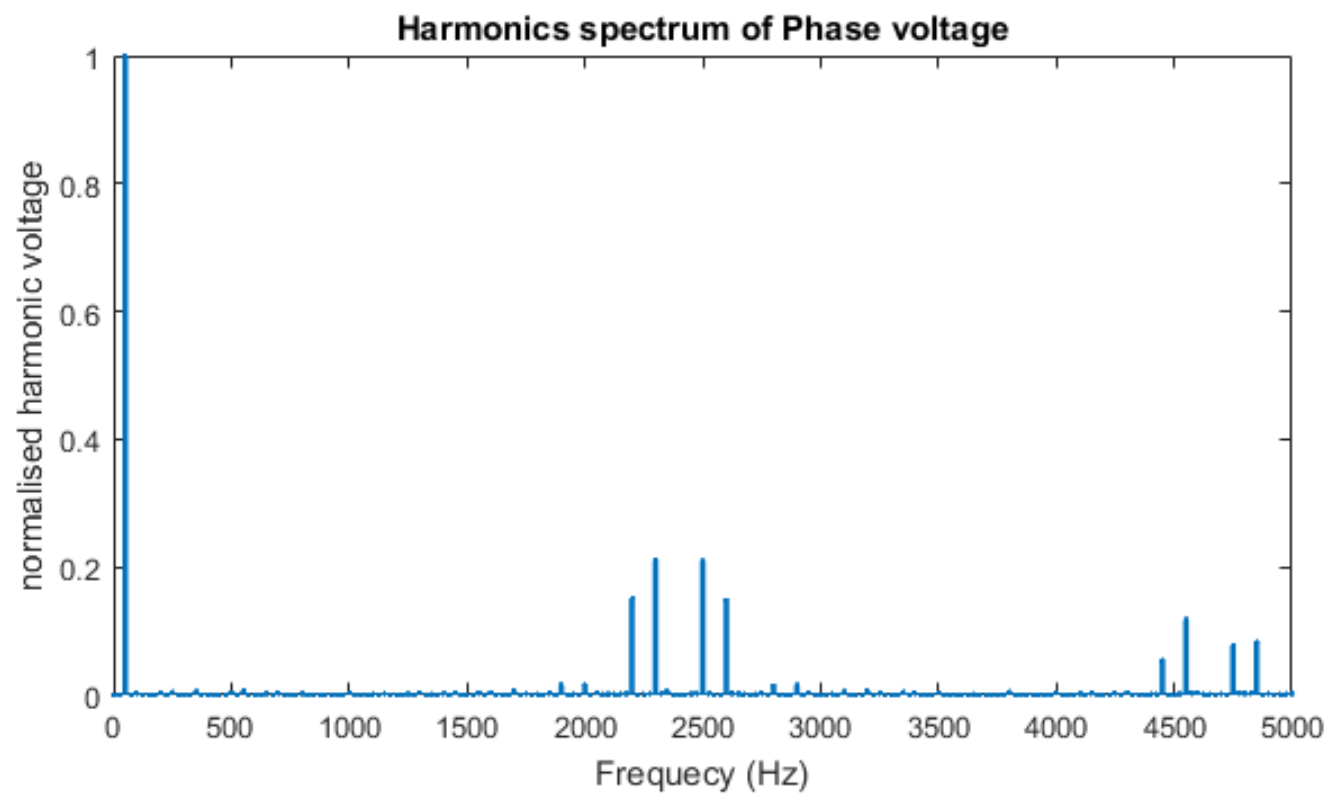
Neparni viši harmonici				Parni viši harmonici	
koji nisu višekratnik od 3		koji su višekratnik od 3			
redni br. h	$U_h$ u % $U_n$	redni br. h	$U_h$ u % $U_n$	redni br. h	$U_h$ u % $U_n$
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6 do 24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Tablica 2.3. Maksimalne propisane vrijednosti pojedinih harmonika [2,str. 137]



$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}$$

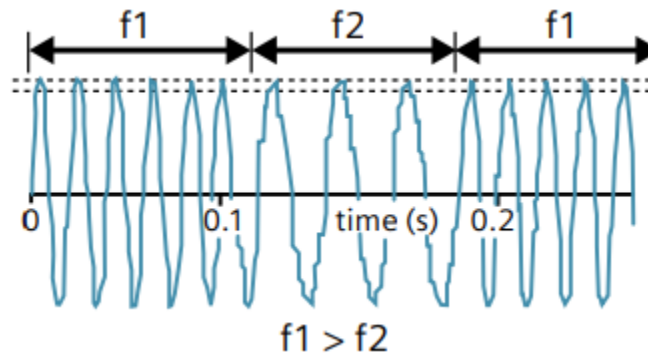
(2-2)



Slika 2.4. Harmonijsko izobličenje faznog napona [8]

## 2.4. Frekvencija napona

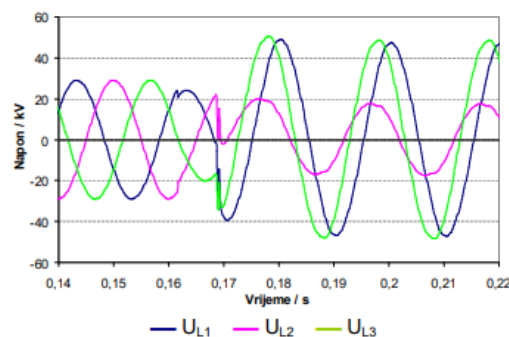
Frekvencija nazivnog napona iznosi 50 Hz. Pri normalnim pogonskim uvjetima u distributivnoj mreži vrijedi 98% svih 10 sekundnih vrijednosti temeljne frekvencije mora biti unutar pojasa : 50 Hz  $\pm$  1 %, a u ostalih 5 % ne smije izlaziti izvan +4 % / -6 % 50 Hz. Kod otočnih mreža vrijede nešto drugačija pravila. Na slici 2.5. je prikazana promjena u frekvenciji koja uključuje varijaciju u frekvenciji iznad ili ispod 50 Hz.



Slika 2.5. Frekvencija napona

## 2.5. Nesimetrija napona

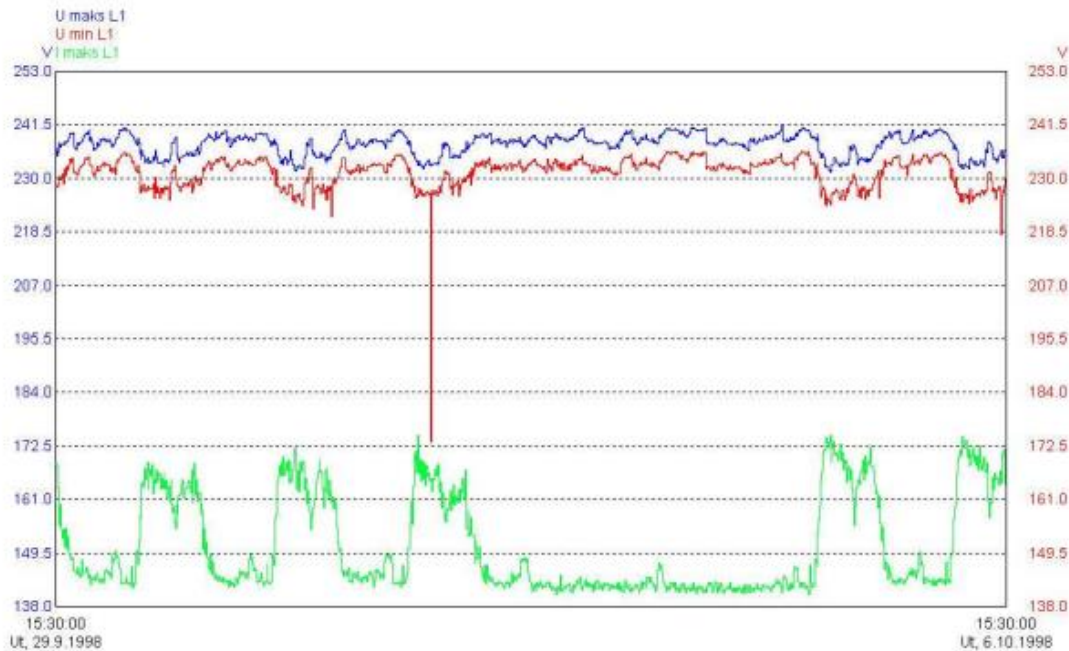
Nesimetrija napona nastaje pri trofaznim mrežama između pojedinih faza kod kojih iznos nije jednak i kut nije 120°. Mjerilo koje pokazuje nesimetriju napona je omjer inverzne i direktne komponente. Pri normalnim pogonskim uvjetima sve 10-minutne srednje efektivne vrijednosti inverzne komponente napona ne smije kod 95 % srednjih vrijednosti svakog tjednog intervala prelaziti 2 % odgovarajuće direktne komponente. Na slici 2.6. vidimo nesimetriju napona uzrokovanu kvarom.



Slika 2.6. Nesimetrija napona uzrokovana kvarom

## 2.6. Propadi napona

Propadi napona uglavnom nastaju radi kvarova u mreži. Propad napona je naglo(nepredviđeno), kratkotrajno smanjenje napona na neku od vrijednosti u pojasu od 90 %, pa do 1% nazivnog napona ,nakon čega se napon vraća na početnu vrijednost. Norma EN 50160 ne regulira dozvoljeni broj naponskih propada tijekom tjedna, nego daje ocjenu da je njihova učestalost godišnje promjenjiva. Očekivani broj propada godišnje od desetak do tisuću. Većina propada traje manje od 1 sekunde, a dubine do 60 % (slika 2.7.).



Slika 2.7. Naponski propadi

## **2.7. Prekid opskrbe električne energije**

Prekid opskrbe znači da je opskrbeni napon na mjestu predaje manji od 1% nazivnog napona. Prekidi se razlikuju po planiranim i neplaniranim prekidima te prema trajanju - kratkotrajni i dugotrajni prekidi. Kratki prekidi traju manje od 3 min, dok dugi traju duže od 3 min. Kratki prekidi u 70% moraju biti kraći od 1 s, dok kod dugih prekida tolerancija iznosi 10-50 puta godišnje.

### **3.NADZIRANJE U SKLADU S NORMAMA I ANALIZA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE**

Pojmove nadziranje i analiza električne energije ne smiju se poistovjećivati. Nadziranje (monitoring) je snimanje parametara električne mreže u određenom periodu i određivanje rezultata prema važećoj normi. Monitoring je potreban da bi se definirala elektromagnetska pojava u nekoj mrži. Još jedan razlog ,zbog kojeg se provodi monitoring je kako bi se utvrdila nekompatibilnost između izvora i trošila. Osim ova dva razloga za nadziranje mreže, nadziranje se provodi i zbog ekonomskog razloga. Ciljevi nadziranja (monitoringa) definirani su opremom, metodom mjerenja, te izborom snimanja parametara u određenom vremenskom intervalu. Rezultati nadziranja nam govori slažu li se parametri s važećom normom. Uređaji za nadziranje u skladu s normom nam ne mogu dati informacije o kvaliteti električne energije, te podatke nam daje analiza kvaliteta električne energije.

Kod analize parametara električne energije trebaju se razlikovati:

1. Analiza kvalitete
2. Analiza smetnji

#### **3.1. Značenje pojmova kvalitete i smetnje**

Kvaliteta ima pozitivno značenje, dok smetnje imaju negativno značenje. Prije su se u ovom području svi mjerni uređaji nazivali analizatori smetnji, dok danas kada su norme čvrsto postavljene, nazivamo ih analizatori kvalitete ili monitori kvalitete. Stoga može se reći da pojam kvalitete više opisuje odnos isporučitelj-potrošač, dok pojam smetnje više postaje tehnički problem.

### **3.2. Analiza rezultata**

Da bi se obavila analiza mjerenja postoji procedura kojom se obavlja:

1. Plan rada
2. Priprema opreme i mjerenja
3. Inspekcija mjernog mjesta
4. Nadziranje u određenom periodu
5. Analiza rezultata
6. Rješenje problema
7. Ponavljanje postupka od početka, ako je potrebno.

Najčešće je sam nadzor (monitoring) dovoljan da se dobije uzorak kvalitete električne energije. Ali to nije dovoljno za otklanjanje problema, koji nisu u skladu s odgovarajućom normom. Za rješavanje problema potrebno je provesti analizu kvalitete električne energije. Analiza kvalitete električne energije vrlo je složen proces, potrebna je kvalitetna oprema i stručni mjeritelj. Najčešće se provodi više mjerenja, zato što postoje uvjeti na koje ne možemo utjecati. Analiza kvalitete električne energije najčešće se prikazuje pomoću grafova, to su naponski i strujni vremenski dijagrami. Također, se koriste histograme, 3D prikaz i vektorske dijagrame. Ispitivanje i trajni nadzor se razlikuju, ispitivanje je mjerenje s odlukom trajanja, dok trajni nadzor (monitoring) se vrši konstantno na mreži.

## 4. IZVORI SMETNJI U INDUSTRIJSKIM POGONIMA

U industrijskim pogonima postoje različiti uzročnici smetnji. Industrijski pogoni su nelinearna trošila, zbog toga nastaju izobličenja u valnom obliku. Sve to utječe na kvalitetu električne energije.

### 4.1. Izvori harmonika u industrijskim pogonima

Veliki industrijski pogoni su nelinearna trošila. Takva trošila dodatno utječu na valni oblik. Zbog toga se poduzimaju neke mjere, kako bi se to smanjilo. Industrijske pogone karakterizira mali faktor snage. Kako bi se izbjeglo plaćanje penala, ugrađuju se kondenzatorske baterije. No, zbog toga se pojavljuju strujni harmonici, i kao posljedica toga je rezonancija. Pojavom rezonancije dolazi do pregrijavanja motora i transformatora. Također, uzrokuje nepravilan rad osjetljivih elektroničkih komponenti. Ima nekoliko nelinearnih trošila u industrijskim pogonima:

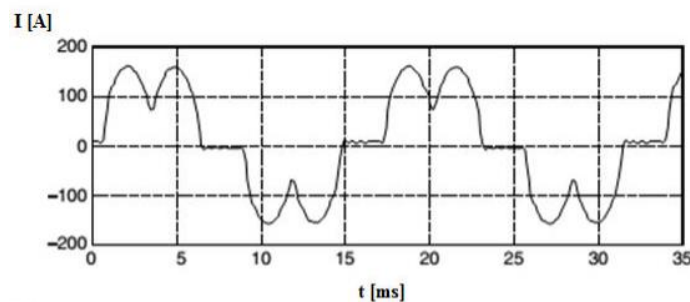
- Uređaji s električnim lukom
- Trofazni ispravljači
- Uređaji s radnom točkom u zasićenju

#### 4.1.1 Uređaji s električnim lukom

Uređaji koji pripadaju u ovu skupinu su lučni zavarivači, peći i rasvjeta na izboj plina. Električni luk ima nelinearnu strujno-naponsku karakteristiku. Paljenjem električnog luka dolazi do pada napona i povećanja struje, a struja je limitirana samo impedancijom sustava.

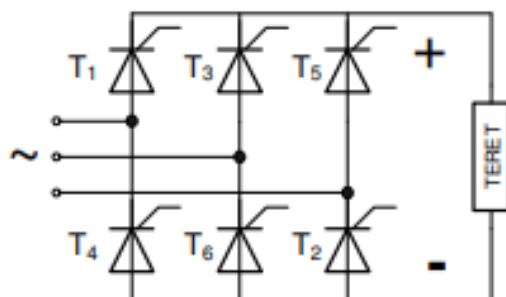
#### 4.1.2. Trofazni ispravljači

Trofazni ispravljači se razlikuju od jednofaznih zato što ne generiraju harmonike 3. reda. Trofazni ispravljači mogu generirati harmonike, kao što je prikazuje slika 4.1.



Slika 4.1. Valni oblik struje trofaznog ispravljača [1, str. 189]

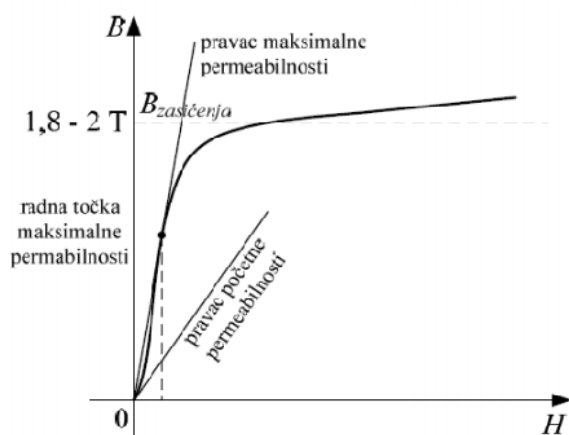
Ovo je klasičan primjer pogona sa promjenjivom brzinom zbog kojeg dolazi do viših harmonika. Za normalan rad DC motora ispravljanje je neizbježan korak. DC pogoni imaju veću mogućnost reguliranja brzinom i veći potezni moment. DC pogoni imaju veće troškove održavanje nego pogoni s AC motorima. Zato je upotreba takvih pogona znatno manja. U DC pogonima većinom se koristi 6-pulsni ispravljač, za pogone veće snage 12-pulsni ispravljač.



Slika 4.2. Nadomjesna shema 6-pulsnog [3, str 6]

#### 4.1.3. Uređaji sa radnom točkom u zasićenju

Uređaji koji spadaju u ovu kategoriji su transformatori i ostali elektromagnetski uređaji sa željeznom jezgrom, uključivši i indukcijske motore. Karakteristika željeza je nelinearna zbog toga nastaju harmonici.



Slika 4.2. Krivulja magnetiziranja [4]

Energetski transformatori su dizajnirani za rad u aktivnom radnom dijelu, a ne za rad u zasićenju. Struja magnetiziranja također sadrži više harmonike pri nazivnom naponu i iznosi manje od 1% nazivne struje. Transformatori, u odnosu na energetske ispravljače generiraju osjetno manje



harmonika, ali su uočljivi. No, neki transformatori su prilagođeni za rad u zasićenju. Primjer za rad u zasićenju su transformatori koji služe za napajanje indukcijskih peći.

## **4.2. Izvori treperenja i kolebanja napona**

Treperenje je posljedica nesavršenosti sustava da napaja potrošače različitih snaga. Porastom opterećenja raste struja, a poratom struje napon opada. Zbog toga dolazi do naglog pada napona na sabirnicama. Osjetnije treperenje nastaje promjenom iznosa napona i frekvencije. Treperenje napona je odlično vidljivo kod rasvjetnih trošila koja će početi treperiti. Treperenje napona najčešće dolazi kod industrijskih sustava koji se napajaju iz slabog distribucijskog opskrbnog voda.

Treperenja i kolebanja napona ovise o idućim parametrima trošila:

- Impedanciji pogona
- Prividnoj snazi
- Frekvenciji treperenja

Elektrolučna peć je primjer nelinearnog trošila koji uzrokuje treperenje napona. Najveća snaga se postiže kod početka taljenja i moguć je kratki spoj između elektroda. Veliki indukcijski motori pri zaletu mogu prouzročiti kolebanje napona. Struja pri pokretanju motora je induktivnog karaktera zbog čega dolazi do pada napona u mreži. Trošila koja također mogu prouzročiti kolebanje i treperenje napona:

- Pilane
- Valjaonice
- Lučne peći
- Industrijski motori velikih snaga sa promjenjivim opterećenjima
- Kondenzatori za poboljšanje faktora snage
- El. grijači većih snaga
- Uređaji s x-zrakama
- Laseri
- Klimatizacijska oprema za hladne komore.

### **4.3. Izvor nesimetrije napona**

Nesimetričnost napona je česta pojava u mreži, i kao takva pojava predstavlja problem. Mjerilo nesimetričnosti određuje omjer direktne i inverzne komponentne napona. Nesimetričnost napona nastaje zbog:

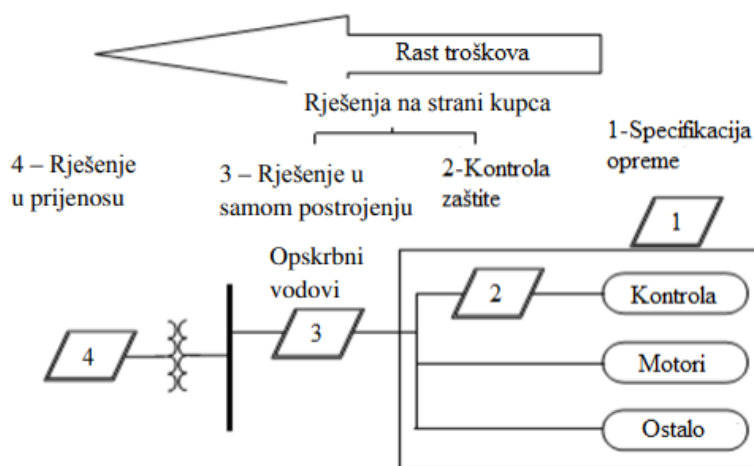
- Puštanja ili isključivanja velikog broja potrošača u pogon
- Kratkog spoja (kvar)
- Kvara opreme

## 5. TEHNIČKA RJEŠENJA ZA POBOLJŠANJE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Glavno pitanje je kako uz optimalna ulaganja povećati kvalitetu električne energije. Odgovor, između ostalog ovisi o pokazateljima kvalitete električne energije.

### 5.1. Smanjanje naponski propada

Opskrbljivači i proizvođači opreme mogu poduzeti par stvari kako bi smanjili veličinu propada napona. Na slici 5.1. se vide alternativna rješenja i odnos troškova za smanjenje naponskih propada. Iz slike, se može zaključiti da je najjeftinija varijanta problem riješiti blizu trošila. Najbolje rješenje je povećati otpornost u specifikaciji uređaja.



Slika 5.1. Rješenja za smanjenje propade napona [1, str 59.]

Nekoliko rješenja kako smanjiti naponske propade:

1. Uz električnu opremu proizvođači nam daju krivulju otpornosti opreme na naponske propade
2. Kompanije koje dostavljaju opremu trebaju naglasiti važnost opreme. Ukoliko je oprema kritična, treba osigurati otpornost na naponske propade. Ukoliko oprema nije važna, zaštita od propada nije potrebna.

3. Oprema treba podnijeti naponske propade do 70% (ITIC krivulja). Češće se pojaviti naponski propad od 90 % nego od 70%. Puno idealnije bi bilo podnošenje propada od 50%, to nam govori standard SEMI F-47.

Ukoliko se treba postići otpornost na veće dubine naponski propada, po potrebi se ugrađuje UPS ili drugi izvor napajanja. Ovakvo rješenje se primjenjuje kod strojeva koji mogu podnijeti kratkotrajne propade ili prekid, ali ih zaštitni uređaji isključuju. Na slici 4.1. razine 3 i 4 predstavljaju neku vrstu pričuvnog izvora napajanja u kratkotrajnom periodu. Razina 4 prikazuje rješenja u elektromagnetskom pogonu kako bi se smanjili naponski propadi i prekidi.

Rješenja za poboljšanje parametara nekog objekta i procesa primjenjuju se na različitim razinama. Optimalna rješenja se baziraju na specifičnim zahtjevima procesa.

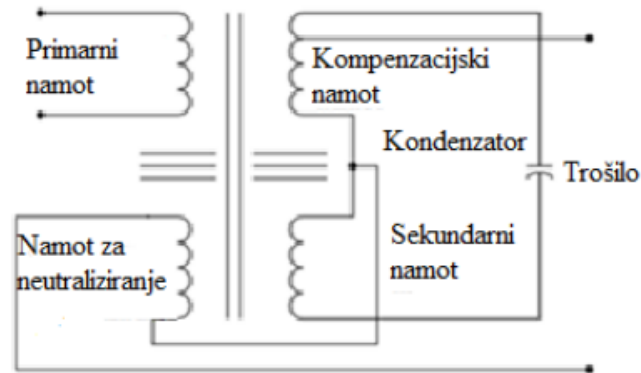
1. Zaštita trošila snage do 500 kVA. Obično se koristi za zaštitu kontrolnih uređaja pojedinačnih strojeva. Obično su to jednofazna trošila koje je potrebno zaštititi.
2. Zaštita komponenti za snage oko 300 kVA. Primjenjuju se različite tehnologije za napajanje kritične opreme. Ovo rješenje je ekonomično zato što trošila trebaju tu vrstu zaštite, pogotovo ako je moguće riješiti taj problem u fazi projektiranja.
3. Zaštita cijelog objekta ili grupe trošila na niskom naponu. Katkad je većina trošila u sustavu kritična, te je jedno od rješenja napraviti zaštitu velike grupe trošila na mjestu priključka. U današnje vrijeme primjenjuju se nove tehnologije za rješenje.
4. Zaštita na srednjem naponu. Za zaštitu cijelog objekta ili poboljšanje kvalitete električne mreže primjenjuje se zaštita na srednjem naponu.

Kroz poglavlje će biti opisana najrašrenija rješenja koja se koriste za smanjenje naponskih propada.

#### **5.1.1. Transformatori stalnog napona**

Transformatori stalnog napona (ferorezonantni transformatori) mogu podnositi veliku većinu naponski propada. Transformatori stalnog napona se često koriste za linearna trošila. Nelinearna trošila nemaju istu promjenu valnog oblika struje i napona. Kod nelinearnog trošila struja je vrlo velika što je problem za TSN. Nelinearna trošila uzrokuju niz poremećaja kao što su izobličenje

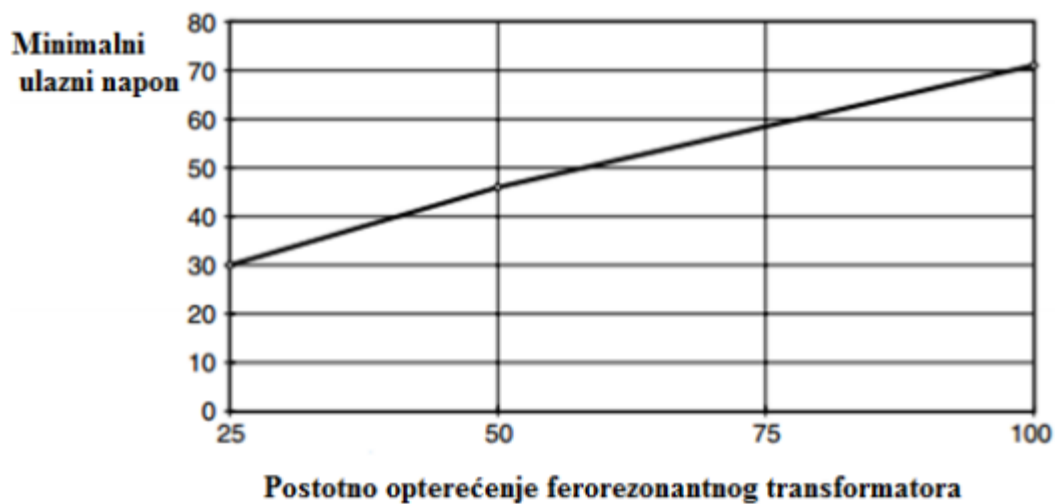
napona, pregrijavanje transformatora itd. Prijenosni omjer kod ferorezonantnog transformatora iznos 1:1.



5.2. Shema ferorezonantnog transformatora [1, str. 62]

Ferorezonantni transformatori mogu davati konstantan napon do određene granice. TSN je najraširenije rješenje protiv naponskih propada. Ferorezonantni transformatori imaju i svoje nedostatke. Ako se TNS koristi na nepravilan način, može biti uzrok smanjenja kvalitete električne energije. Zbog viših harmonika dolazi do pregrijavanja ferorezonantnog transformatora, kao i kod svakog drugog transformatora. Gubici harmonika nastaju zbog veće dispacije topline i skin efekta. Ta dodatna toplina može smanjiti životni vijek izolacije transformatora. U industrijskim postrojenjima transformatori su namijenjeni za nelinearna opterećenja, kontinuirani rad ili rad na snagama većim od nazivne snage. Zbog toga dolazi do visokih radnih temperatura, no napredovanjem energetske tehnologije, došlo je do toga da transformatori mogu raditi u sustavima sa značajnim harmonijskim izobličenjima. Transformatori stalnog napona mogu proizvoditi više harmonike i pravokutni valni oblik, zbog toga se često koristi filter viših harmonika. Još jedan nedostatak je neučinkovitost kod velikih tereta, kod malih tereta učinkovitost iznosi od 50% do 80%. Potrebno ih je projektirati da mogu podnijeti struju uklopa.

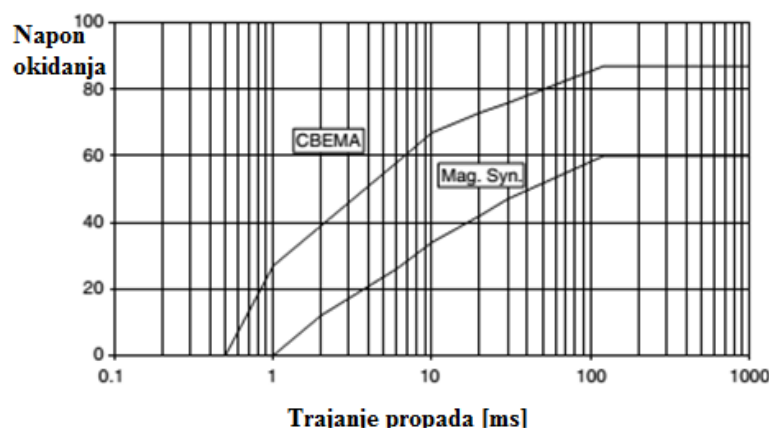
Na slici 5.3. se prikazuje dozvoljeni naponski propad pod opterećenjem, u postotku nazivnog napona. Pri opterećenju od 25%, transformator može podnijeti propad od 30%, i na izlazu ferorezonantnog transformatora daje 90% nazivnog napona.



Slika 5.3. Naponski propad pod opterećenjem ferorezonantnog transformatora [1, str. 63]

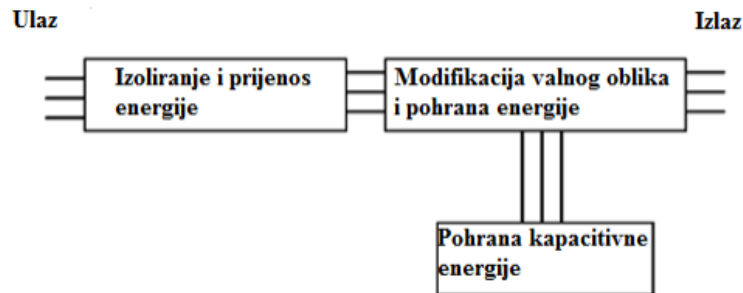
### 5.1.2. Magnetski sintezatori

Magnetski sintenzatori imaju sličan način rada kao ferorezonantni transformatori. Magnetski sintenzatori se koriste za trofazne mreže. Magnetski sintenzatori koriste sve prednosti trofazne mreže za poboljšanje regulacije i otpornosti trofaznih uređaja na naponske propade. Koriste se za snage od 15 kVA do 200 kVA. Primjenjuju se za računala i trošila u različitim sustavima, kojima naponski propadi i kolebanje napona predstavlja veliki problem.



Slika 5.3. Povećanje otpornosti na naponske propade magnetskim sintezatorom [1, str. 64]

Prenošenje električne energije odvija se putem linijskih prigušnica, koje otklanjaju šumove. Energija se skladišti pomoću kondenzatora i transformatora. Pomoću transformatora i kondenzatora dobivamo čisti valni oblik bez harmonijskih izobličenja. Transformator u spoju cik-cak služi za napajanje.



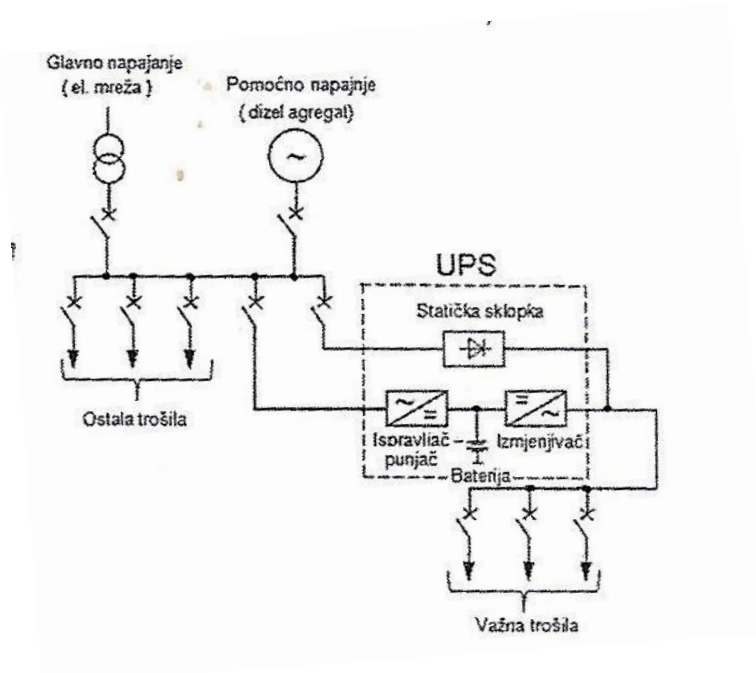
Slika 5.4. Blok shema magnetskog sintenzatora [1, str. 64]

Magnetski sintenzatori koriste princip rezonancije, krugovi se sastoje od nelinearnih induktiviteta i kapaciteta, pulsirajućih transformatora za prilagođavanje valnog oblika napona. Transformator za prilagođavanje naponskog valnog oblika radi u zasićenju. Magnetski sintenzatori se koriste za zaštitu medicinske opreme, velikih računalnih instalacija i ostalih industrijskih procesa. Magnetski sintenzatori također se koriste za zaštitu od podnapona i prenapona.

### 5.1.3. UPS sustavi

Jedno od rješenje za smanjenje naponskih propada je pričuveni UPS. UPS (uninterruptible power supply) predstavlja sustav rezervnog napajanja koji osigurava kontinuiranost i kvalitetu napajanja za važna trošila osjetljiva na smetnje:

- Računali centri
- Industrijski procesi
- Medicinska oprema
- Uređaji sa mikroprocesorima.



Slika 5.5. Blok shema UPS sustava

Funkcije i dijelovi UPS sustava:

1. Ispravljač
2. Baterija
3. Invertor
4. Bypass + statička sklopka

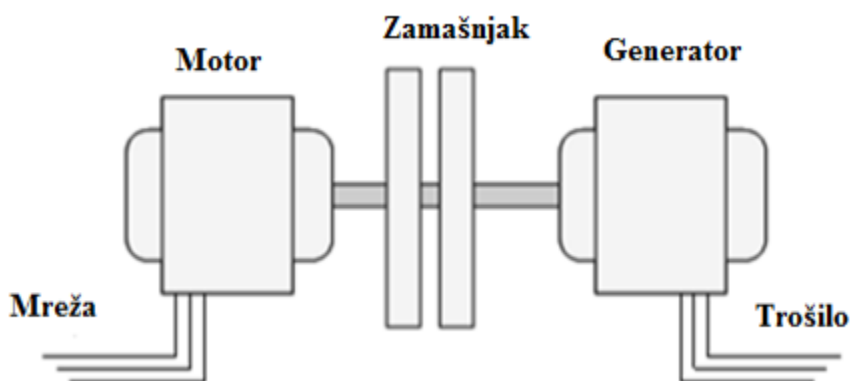
Ispravljač služi za ispravljanje izmjeničnog napona glavnog ili pomoćnog izvora napajanja u istosmjerni. Služi za napajanje invertora i nadopunjavanje baterije. Baterija osigurava napajanje invertora kada nema napona iz glavnog izvora ili smetnji u glavnom napajanju izvan granica. Invertor pretvara istosmjerni napon u izmjenični sa oštrijim zahtjevima nego što su zahtjevi na naponu glavnog izvora napajanja. Bypass(premosnica) prebacuje trošilo preko sklopke, bez prekida u napajanju. Prebacivanje se događa u slučaju isključenja invertora, preopterećenja UPS-a ili zbog unutrašnjeg kvara UPS-a. Ovakav primjer UPS-a može se kupiti u trgovinama za zaštitu trošila malih snaga. Specifikacije koje se dobiju od proizvođača za UPS: snaga u kVA, dinamička i statička kontrola napona, prenaponska zaštita i razina buke.



#### 5.1.4. Blok motor-generator

Jedan od najstarijih rješenja za smanjenje naponskih propada su blokovi motor generator. Blokove motor generator mogu se naći različitih veličina. Princip rada je jednostavan. Motor se napaja iz mreže, te pogoni generator koji je spoje na istu osovinu. Zamašnjak se nalazi na osovini između motora i generatora. Zamašnjak služi za održavanje brzine kada dođe do smanjenja brzine zbog naponskog propada. Osim toga, blok M-G se upotrebljava za odvajanje kritičnih trošila od ostalih smetnji, kao što su tranzijenti i harmoničke oscilacije. Zbog svog jednostavnog principa blok M-G ima i nekoliko nedostataka:

- Povećani gubici
- Naponski propad i smanjena frekvencija nekoliko trenutaka
- Buka i održavanje



Slika 5.6. Blok motor generator

Blokovi motor generator rabe specijalne generatore sa istaknutim polovima. Blokovi motor generator mogu generirati konstantnih 50 Hz i držati konstantan napon. Takva izvedba stroja može davati kada je brzina u rasponu od 3150 do 3600 okr./ min. Kada dođe do naponskog prekida brzina se održava 3150 okr./min zbog inercije zamašnjaka. Nazivna frekvencija se održava do 15 sekundi zbog mase rotora.

Blokovi motor generator su samo jedan od oblika iskorištavanja uskladištene energije u zamašnjaku. Da bi se ostvarila otpornost na naponske propade od 10 s do 2 min koristi se brzi zamašnjak i elektronika. Slika 5.7. prikazuje presjek jednog takvog sustava. Moderniji sustavi sa

zamašnjacima rade u vakuumu i koriste magnetne ležajeve kako bi smanjili gubitke stroja pri stanju mirovanja. Ovakvi strojevi rade i na brzinama do 10 000 okr./min., moguće je i postizanje većih brzina, ali rotor treba biti izrađen od izdržljivijih materijala. Velika prednost ovih sustava je veliko pohranjivanje energije na malom prostoru, zato što uskladištena energija proporcionalna kvadratu brzine. Prilikom pohranjivanja rotor se vrti brzinom kao i motor, a u trenutku zahtjeva energije, rotor i armaturu funkcioniraju kao generator. Kada rotor usporava, kontrolni sustav automatski pojačava polje kako bi nadomjestio sniženi napon. Primjeri ovakvih sustava se upotrebljavaju za baterije u UPS sustavima.



Slika 5.8. Zamašnjak za pohranu energije [1, str.69]

## 5.2. Smanjenje treperenja napona

Treperenje napona nije moguće potpuno kompenzirati, zbog toga postoje neka rješenja koja smanjuju njihov utjecaj. Tehnike za smanjenje koje se koriste su vrlo slične kao kod smanjenja naponski propada i prekida zbog toga tehnike neće biti opisane.

Nekoliko rješenja za smanjenje treperenja napona:

- Ugradnja UPS sustava
- Zamjenom žarulje sa žarnom niti sa fluorescentnom žaruljom
- Podešavanje uređaja koji unose smetnje: promjenom načina zaleta motora koji se često pokreće. S tim primjerom se smanjuje struja pokretanja.
- Preuređenje mreže: povećanje snage kratkog spoja, povećanjem električne udaljenosti između rasvjete i opterećenja koje unosi smetnje
- Ugradnja reaktivnog kompenzatora: treperenje smanjuje i do 50%
- Serijskim spajanjem reaktancije: uvođenjem samoindukcije u seriju s uređajem koji unosi smetnje. Treperenje napona smanjuje za 30%.

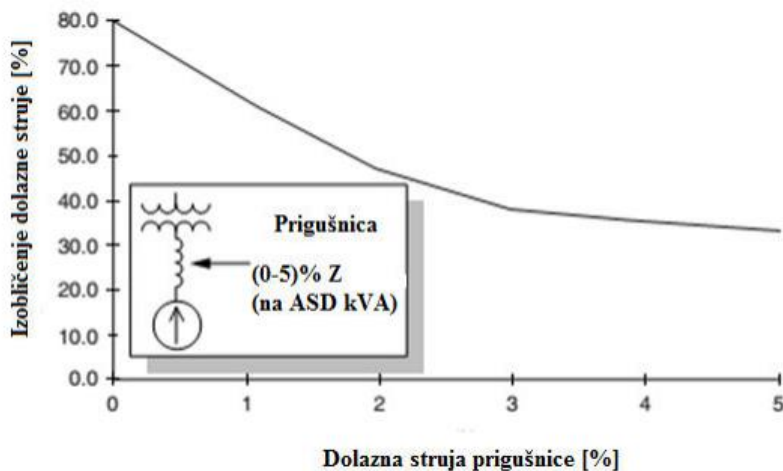
## 5.3. Smanjenje harmonijskog izobličenja

Postoji puno metoda i uređaja za regulaciju harmonijskih izobličenja. Jednostavna rješenja za kontrolu harmonijskog izobličenja su kondenzatorske baterije i linijske prigušnice. Od kompleksnijih rješenja koriste se pasivni, aktivni i hibridni filteri.

### 5.3.1. Prigušnice

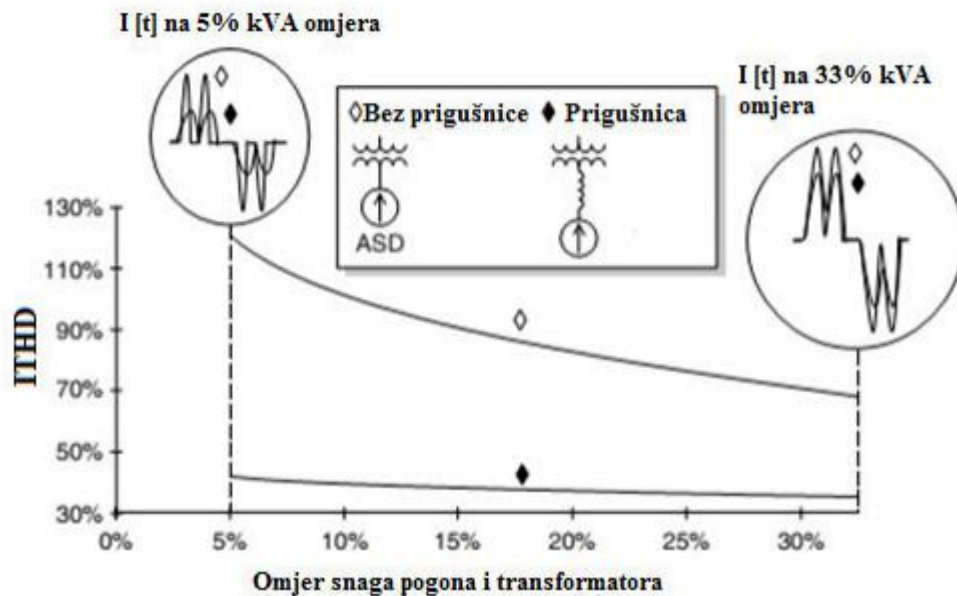
Prigušnice su najjednostavnije i učinkovito rješenje za reduciranje harmonijskih izobličenja, pogotovo u pogonima s promjenjivom brzinom.

Pomoću prigušnice se povećava trajanje punjenja kondenzatora, odnosno smanjuje se struja punjenja kondenzatora na DC sabirnici. Osim smanjenja iznosa struje, smanjuje se i harmonijsko izobličenje za 40-80%. Slika 5.9. prikazuje poboljšanje koje se dobije ugradnjom prigušnice. Povećanjem struje iznad 3% dolazi do smanjenja harmonijskog izobličenja.



Slika 5.9. Učinak prigušnice na harmonijsko izobličenje [1, str. 249]

Slika 5.10. prikazuje smanjenje harmonijskog izobličenja ugradnjom prigušnice za različite omjere transformatora i pogona. Za veće omjere snaga između transformatora i pogona postiže se i veće poboljšanje. Poboljšanje je moguće čak i do 85%.

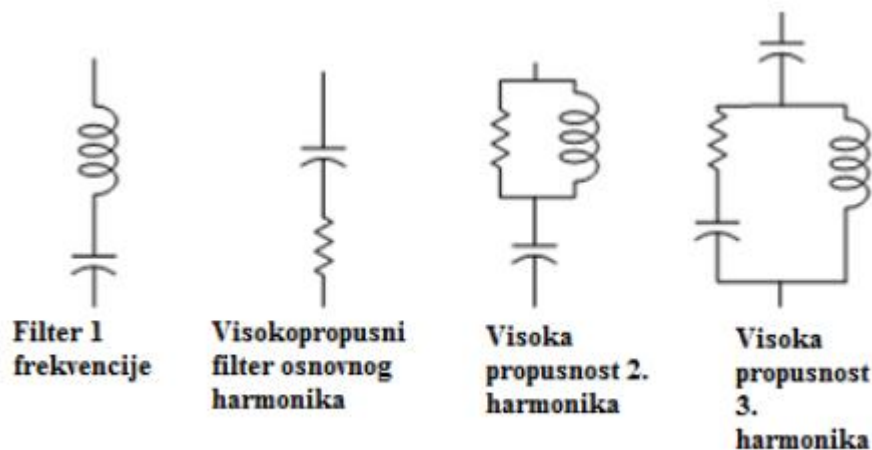


Slika 5.10. Učinak prigušnice na više harmonike na pogone promjenjive brzine [1, str. 250]

Za regulaciju istofaznih harmonika koriste se transformatori u spoju cik-cak. Pregrijavanje transformatora i nul- vodiča su dva najčešća problema do kojih dolazi. Rješenje za ta dva problema je transformator spojen cik-cak. Transformator spojen cik-cak može smanjiti utjecaj harmonika 3. reda i do 50%. Zbog svega navedenog ovakvo rješenje se najčešće upotrebljava u komercijalnim objektima.

### 5.3.2 Pasivni filteri

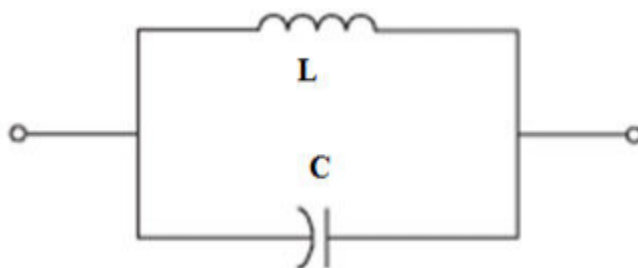
Jedna od najčešćih metoda za kontrolu harmonijskih izobličenja u industriji su pasivni filteri. Ova metoda se često koristi zbog niskih troškova održavanja samih filtera. Pasivni filteri se dobiju različitim spajanjem induktivnih elemenata, kondenzatora i otpornika. Često se treba provesti simulaciju filtera kako bi se izvedba testirala na različitim opterećenjima i kako ne bi došlo negativnog utjecaja. Nedostatak ovakvih filtera je što mogu imati negativnu interakciju s elektroenergetskim sustavom. Osnovni zadatak pasivnih filtera je spriječiti tok harmonika ili preusmjeriti njihov tok. Slika 5.11. prikazuje najčešće izvedbe pasivnih filtera.



Slika 5.11. Tipične izvedbe pasivnih filtera [1, str. 252]

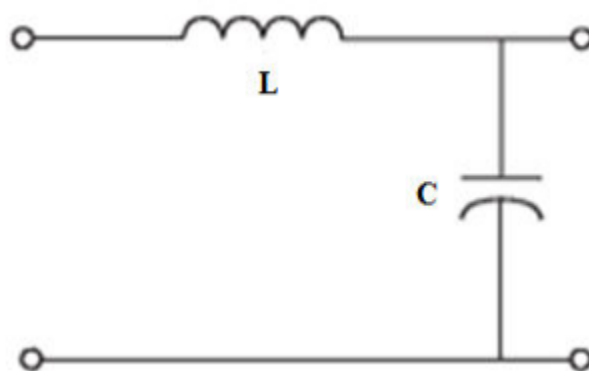
Paralelni pasivni filteri se spajaju paralelno sa trošilom, dok se serijski filteri spajaju u seriju sa trošilom. Veliki otpor harmoniku koji se regulira predstavlja paralelni spoj induktiviteta i kapaciteta. Serijski filteri imaju mali otpor na nazivnoj frekvenciji kako bi se smanjili gubici. Serijski pasivni filteri se najčešće koriste za potrebe smanjivanja utjecaja jednog harmonika u jednofaznim strujnim krugovima. Serijski pasivni filteri ne mogu reducirati istofazne harmonike.

Serijski pasivni filteri moraju biti projektirani za nazivne vrijednosti u mreži. Slika 5.12. prikazuje shemu jednog serijskog pasivnog filtera.



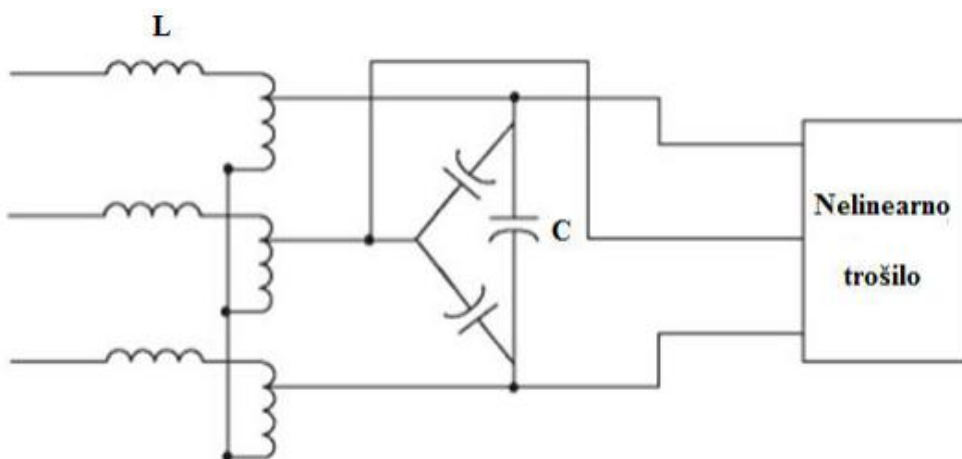
Slika 5.12. Serijski pasivni filter[1, str. 257]

Za smanjenje većeg broja harmonika koristi se niskopropusni širokopojasni filter, zato što se nikad ne pojavljuje samo jedan harmonik. Na slici 5.13. je prikazana shema jednog niskopropusnog širokopojasnog filtera. Niskopropusni širokopojasni filter se može zamijeniti ugradnjom kondenzatorske baterije na niskonaponskoj strani. Veličina kondenzatorske baterije mora biti točno projektirana da pruža redukciju neželjenih frekvencija u kombinaciji s rasipnom reaktancijom transformatora i impedancijom pogona.



Slika 5.14. Shema niskopropusnog širokopojasnog filtera [1, str. 258]

U industriji za zaštitu od harmonika koje generiraju nelinearna trošila koriste se niskopropusni širokopojasni filteri..



Slika 5.15. Shema niskopropusnog širokopojasnog filtera u industrijskim pogonima [1, str. 259]

Razvojem energetske elektronike došlo je do razvoja aktivnih filtera. Aktivni filteri su novi uređaji za kontrolu harmonijskog izobličenja. Aktivni filteri su skuplji od pasivnih filtera zbog toga što su razvijeni na sofisticiranoj elektroenergetskoj opremi. Aktivni filteri su elektronički uređaji. Prednost aktivnih filtera je to što nisu u rezonanciji sa sustavom. Zbog toga aktivni filteri ne ovise o impedanciji sustava. Osim toga, aktivni filteri mogu koristiti za rješavanje nekih drugih problema, kao što su treperenje napona.

## **6.MJERENJE I INSTRUMENTI ZA MJERENJE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE**

Mjerenje kvalitete električne energije se obavlja prikupljanjem mjerenih veličina unutar nekog vremenskog intervala. Veličine koje se mjere su struja, napon i frekvencija. Kasnije se te informacije analiziraju prema preporukama za kvalitetu električne energije. Za obradu se koristi računalo i program za analizu rezultata. Na kraju takvih analiza i mjerenja se dobije odgovor: zadovoljava li kvaliteta električne energije na promatranom mjestu.

Uređaji koji se koriste za mjerenje kvalitete električne energije imaju i programske alate koji najčešće posjeduju preporuke po normi EN 50 160. Na osnovu toga automatski se dobije izvješće o kvaliteti električne energije na mjerenom mjestu u određenom vremenskom intervalu. Prije nego što se odlučimo, kupiti neki mjerni uređaj treba pažljivo pogledati i proučiti specifikacije nekih mjernih uređaja za mjerenje kvalitete električne energije. To su najčešće jednofazno-trofazni modeli. Postoji niz instrumenata koji odgovaraju opisu: CIRCUTOR AR5, LEM-FLUKE MEMOBOX 800/808A i 300/300smart, itd.

### **6.1.Suvremeni analizator LEM MEMOBOX 800**

MEMOBOX 800 je uređaj proizveden od austrijske firme LEM-FLUKE. MEMOBOX 800 je mjerni uređaj koji se koristi za analizu kvalitete mreže i mjerenje svih električnih veličina u mrežama niskih i srednjih napona. Uređaj služi za mjerenje tri struje i četiri napona i može se podesiti za više različiti funkcija. Ispitivanje se provodi određeno vrijeme(24 sata, 7 dana). Izmjerene vrijednosti se spremaju u određenim vremenskim intervalima. Povezivanjem analizatora i računala možemo dobiti grafičke ili numeričke rezultate pomoću CODAM software-a. Slika 6.3. prikazuje mjerne rezultate u software-u CODAM. Korisnik može birati između tri funkcije:

- S – Jednostavna analiza kvalitete napona i mjerenje pod opterećenjem
- Q – Mjeri kvalitetu napona prema normi EN 50 160
- P – Mjerenje snage i optimizacija mreže

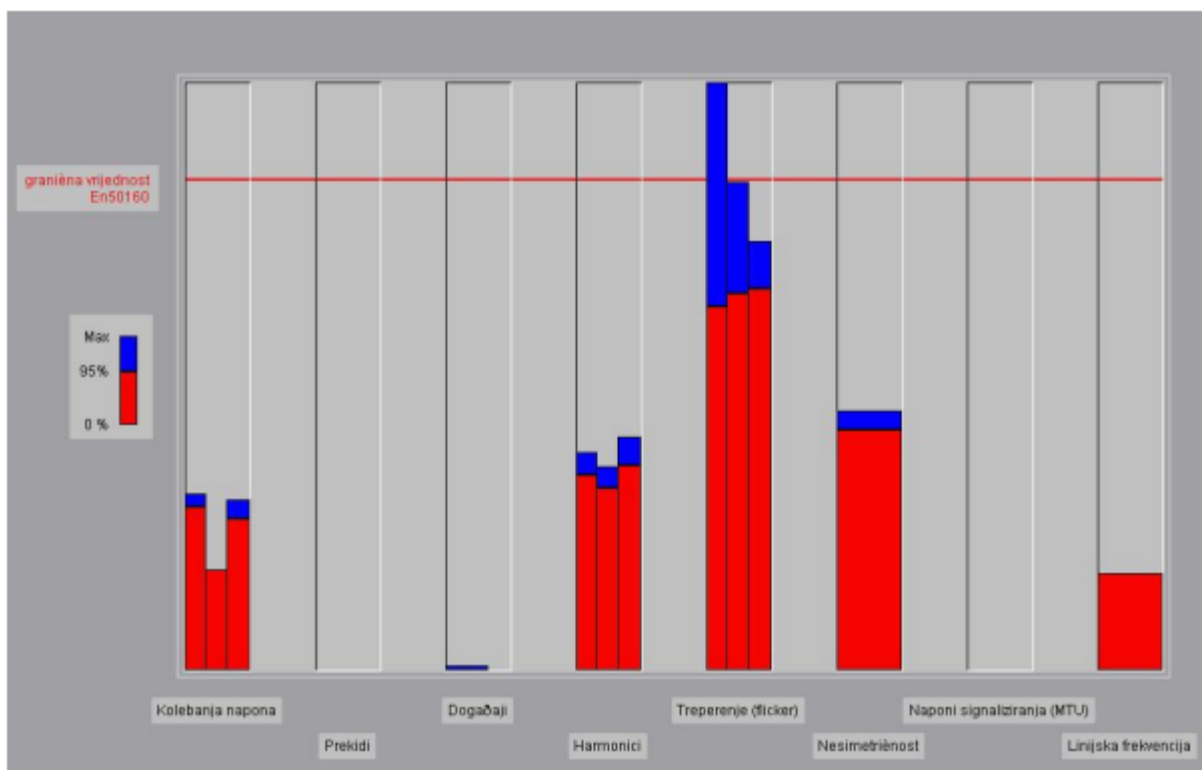




Slika 6.1. MEMOBOX 800

Mjerna veličina	Mjerne funkcije		
	S Standardno	Q Kvaliteta	P Snaga
Napon (srednja, maksimalna i minimalna vrijednost)	•	•	•
Struja L1, L2, L3 (srednja, maksimalna i minimalna vrijednost)	•	•	•
Struja nulvodiča (srednja, maksimalna i minimalna vrijednost)	•	•	•
Promjene napona (padovi, prekoračenja, prekidi)	•	•	•
Snaga ( $P$ , $ P $ , $Q$ , $S$ , (srednja, maksimalna i minimalna vrijednost, faktor snage)			•
Zbroj snaga – ukupna snaga (srednja, maksimalna i minimalna vrijednost, faktor snage)			•
Energija			•
Fliker ( $P_{st}$ , $P_{it}$ )		•	•
Naponi harmonika		•	
THD U		•	•
THD I			•
Tjemeni faktor (crestfactor)		•	
Naponski međuharmonici		•	
Signalni naponi		•	
Asimetrija		•	
Frekvencija		•	

Slika 6.2. Mjerne funkcije MEMOBOX 800 [5]



Slika 6.3. Mjerni rezultati u software-u CODAM [9]

MEMOBOX 800 omogućuje mjerenje i spremanje osam temeljnih parametara na niskonaponskoj ili srednjenaponskoj mreži. Mjerenje kvalitete električne energije traje 7 dana, nakon toga slijedi analiza mjernih rezultata. Mrežni analizator prati vrijednosti parametara i provjerava odgovaraju li normi EN 50 160. Ono što mjerni analizator ne može analizirati su tranzijent i prenaponi između faznih vodiča i zemlje, koji su definirani normom EN 50 160. Takve analize nam daju skuplji i sofisticiraniji uređaji. MEMOBOX 800 se koristi za mjerenje kvalitete električne energije u Hrvatskoj elektroprivredi(HEP).

## 6.2. Siemens SICAM Q200

Siemens SICAM Q200 je mrežni analizator za visoku razlučivost i procjenu kvalitete električne energije. Uređaj služi za kontinuirano praćenje i analizu svi relevantnih parametara električne energije. SICAM Q200 je PQ uređaj klase A prema IEC 62586-1 / 2 i IEC 61000-4-30 Ed. 3. SICAM Q200 se koristi u jednofaznim mrežama, kao i u trožilnim i četverožilnim sustavima. Koristi se gdje god je potrebno praćenje kvalitete električne energije( kućanstva, industrija, podatkovni centri) Mjeri i analizira parametre kao što su: napon, struja, frekvencija, harmonici, itd. SCADA sustav omogućuje prikazivanje rezultata na računalu. Pored toga, SICAM Q200 pruža

kombiniranu funkciju snimanja i analize za izmjerene vrijednosti izravno na uređaju. Mjerni rezultati mogu se SICAM PQS / PQ analizator sustava putem IEC 61850. Analizu i izvještaje može generirati prema normi EN 50160. Slika 6.4 prikazuje izvedbu SICAM Q800.



Slika 6.4. Siemens SICAM Q200

Tehničke specifikacije:

Ulazni mjerni krugovi:

- 4x izmjenični napon
- 4x izmjenična struja

Binarni ulazi/izlazi:

- 6 ulaza
- 6 izlaza
- Pojedinačno programirani

Memorija:

- 2 GB

#### Mjerne karakteristike:

- Mjerenje u skladu s IEC 61000-4-30 Klasa A Ed3, izvještavanje i analiza prema EN 50160
- Pravi RMS napon i struja sa 8192 uzorkovane vrijednosti /10 ciklusa uzorkovanja
- Snimanje do 63-eg harmonika
- Mjerenje, vizualizacija, snimanje u PQDIF frekvencijama u rasponu od 2 kHz do 9 kHz (IEC 61000-4-7) i 9 kHz do 150 kHz (IEC610000-4-30- 2015)
- Mjerenje brzih promjena napona
- Snaga harmonika za otkrivanje smjera harmonika
- Radna, reaktivna i prividna snaga
- Fazni pomak

#### Upravljanje energijom:

- Vrhovi profila i prosječne vrijednosti opterećenja; vrijeme korištenja (TOU) s 4 tarife
- Udovoljava sljedećim standardima: IEC 62053-22 klasa točnosti 0,2 S, ANSI C12.20 Klasa 0,2
- ANSI C12.20 Analizator električne energije, klasa točnosti 0,2
- 4 kvadranta snage: primljeno i isporučeno / induktivno i kapacitivno

#### Spremanje podataka:

- CSV podaci, npr. za daljnju obradu u MS Excel-u
- PQDIF podaci sukladni IEEE 1159.3, za PQ snimke
- COMTRADE podaci sukladni IEC 60255-24 / IEEE standardu C37.111 za valne zapise

#### Prikaz:

- Grafički prikaz uključujući rad sa 4 funkcijske tipke
- Integrirani web poslužitelj za interakciju s PC i HTML stranicama

#### Zaštita:

- Zaštićena komunikacija putem web preglednika

- Zaštita lozinkom

Pomoćni napon:

- 100-230 VAC / DC

Dimenzije:

- 192 x 96 x 134.6 mm

Specijalni efekti:

- PQ izvještavanje prema EN 50160 i CBEMA izravno preko HTML web poslužitelja
- Vizualizacija izmjerenih harmonskih emisija od 2 kHz do 9 kHz i od 9 kHz do 150 kHz na HTML stranicama kao toplinska karta
- Procjena događaja izravno u HTML-u putem dodatka COMTRADE viewer / SIGRA [6]

### **6.3. Usporedba uređaja MEMOBOX 800 i Siemens SICAM Q800**

Uređaj MEMOBOX služi za ispitivanje kvalitete električne energije. Ispitivanje se provodi određeno vrijeme (24 h, 7 dana). Ispitivanje obično traje 7 dana, nakon toga slijedi analiza mjerenih rezultata. MEMOBOX 800 se koristi za mjerenje kvalitete električne energije u Hrvatskoj elektroprivredi (HEP). Dok, SICAM Q800 služi za nadzor (monitoring) kvalitete električne energije. Nadzor se vrši trajno i konstantno. SICAM Q800 ima veliku memoriju za spremanje podataka o stanju u mreži. SICAM Q800 ima visoku razlučivost. SICAM Q800 je više namijenjen za industrijska postrojenja. SICAM Q800 ima više funkcija od MEMOBOX 800, to i se vidi i po cijeni uređaja. MEMOBOX 800 košta oko 120 €, dok SIEMENS SICAM Q800 košta oko 5500 €.

## 7.ZAKLJUČAK

U današnjem svijetu, kvaliteta električne energije je usko povezana sa tržištem. Stabilna opskrba električnom energije glavni je prioritet svakog operatera. Zbog toga se provodi ispitivanje i nadziranje kvalitete električne energije. Razvojem tehnologije, porastao je broj poluvodičkih komponenti u kućanstvima, a tako i u industrijskim pogonima u svrhu jednostavnijeg upravljanja motorima. Zbog toga su uvedene norme koje definiraju neka pravila u distribuciji električne energije. Norma EN 50160 nam daje ograničenja za parametre kao što su: naponski propadi, naponska nesimetričnost, harmonici, prenaponi, valovitost, itd. Loša kvaliteta električne energije uzrokuje tehničko-ekonomske probleme za različite strane povezane na mreži. Istraživanje 2004. godine provedeno u zemljama EU-25 je pokazalo da su najčešće pogođeni elektronički uređaji, električni motori, brzi pogoni i statički pretvarači u industriji. Procjena financijskih gubitaka zbog loše kvalitete električne energije je vrlo složena uključuje razne izravne i neizravne troškove. Utvrđeno je da su industrijski pogoni najviše osjetljivi na probleme u isporuci električne energije. Zbog toga komponente imaju dodatne gubitke i smanjenu učinkovitost. Gotovo sve elektroničke komponente unose smetnje u mrežu koje utječu na kvalitetu električne energije. Harmonici nastaju zbog djelovanja elektroničkih ispravljača, uređaja s električnim lukom. Pojavu harmonika smanjujemo ugradnjom različitih pasivnih filtera i prigušnica. Osim harmonika, veliki problem u mreži je i treperenje napona koje nastaje zbog trošila, kao što su: pilane, valjaonice, električni grijači velikih snaga, motori s promjenjivim opterećenjem, itd. Tehnička rješenja za smanjenje utjecaja treperenja napona su: UPS sustavi, ugradnja reaktivnog kompenzatora, serijskim spajanjem reaktancije, zamjenom rasvjete sa žarnom niti sa fluorescentne žarulje, itd.

Kvaliteta električne energije postaje sve važniji faktor, zbog sve većeg broja korisnika i trošila. Bilo bi korisno da svaki industrijski pogon koristi uređaj za stalni nadzor električne energije zbog izbjegavanja ranije navedenih problema. Uređaj treba imati veliku memoriju i jednostavno povezivanje sa računalom, kako bi u svakom trenutku mogli naći uzorak loše kvalitete električne energije. Jedan od takvih uređaja je Siemens SICAM Q200 koji sadrži sve opisane karakteristike. Ugradnjom takvog uređaja u svakom trenutku se može vidjeti što se događa u mreži. Nadzor je vrlo bitan zato što industrijski pogoni sadrže veliki broj trošila različitih karakteristika. Pomoću analizatora mreže olakšano je prepoznavanje problema i rješavanje uočenih problema u pogonima. Također, automatiziranjem sustava primjenjuje se SCADA sustav. SCADA sustav je računalni

program za mjerenje, nadzor i upravljanje industrijskim pogonima. Koristi se za jednostavan nadzor (npr. vlažnosti zraka, temperature, tlaka), ali i za složen nadzor i upravljanje (npr. regulacija željezničkog i cestovnog prometa ili proizvodni procesi u tvornicama). Zbog toga se često primjenjuje u današnjim industrijskim pogonima.

## LITERATURA

- [1] R. C. Dugan, Mark F. McGranaghan, S. Santoso, H. W. Beaty, Electrical Power System Quality, McGraw-Hill
- [2] Predavanja: Kvaliteta napona u elektroenergetskom sustavu, Doc.dr.sc. Zvonimir Klaić
- [3] Dr. sc. Dubravko Vučetić: ENERGETSKA ELEKTRONIKA
- [4] Z. Maljković, Osnovna teorija transformatora, Predavanje TESIT, Zagreb, 2013.
- [5] MEMOBOX 800 Network Performance Analyser - USER'S GUIDE
- [6] Siemens: Power Engineering Guide Edition 8.0
- [7] Ž. Novinc, Skripta Kakvoća električne energije prema normi HRN EN50160 i mrežnim pravilima, Zagreb 2016
- [8] [https://www.researchgate.net/figure/Figure-3-Harmonic-spectrum-of-phase-voltage\\_fig1\\_325779367](https://www.researchgate.net/figure/Figure-3-Harmonic-spectrum-of-phase-voltage_fig1_325779367)
- [9] Ivan Ivšinović: Kvaliteta električne energije, SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA



## SAŽETAK

Kroz ovaj završni rad je obrađena tema nadzor kvalitete električne energije. Norma EN 50160 je bila jedna od glavnih vodilja kroz ovaj rad. Opisani su pojedinačno parametri koji utječu na kvalitetu električne energije. Osim toga, teorijski su opisana rješenja za poboljšanje kvalitete električne energije. Na kraju rada su obrađene mjerne funkcije mrežnog analizatora MEMOBOX 800.

KLJUČNE RIJEČI: kvaliteta električne energije, harmonici, naponski propadi, kolebanje napona, filteri, EN 50160.

## SUMMARY

Through this final thesis is explained supervision of electricity. Norm EN 50160 was one of the main and important guides through this thesis. It is described separately all parameters that affect on quality of electricity. Besides that, in theory it's described solutions for better quality. At the end of the work it is described measurement functions of network analyzer MEMOBOX 800.

**Key words:** power quality, harmonics, voltage dips, voltage fluctuations, filters, EN 50160.

## **ŽIVOTOPIS**

Denis Vuzem je rođen 16.01.1998. u Našicama, Republika Hrvatska. Osnovnu školu je pohađao u Našicama. Nakon završetka osnovne škole upisuje Srednju školu Isidora Kršnjavog u Našicama, smjer tehničar za elektroniku. Po završetku srednje škole upisuje se na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija.

**Potpis:**

---